

استفسار  
ماریتج  
ایران نور

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۲۷۵۲۴



دانشگاه سیستان و بلوچستان  
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در مهندسی عمران - مهندسی آب

# بررسی عددی جریان آب عبوری از سرریز لبه آبریز به روش حجم سیال (VOF)

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین اکبری

استاد مشاور:

دکتر علیرضا حسین نژاد دوفین

۱۳۸۸/۸/۳

تحقیق و نگارش:

علی اکبر اعتصام سنج

از طرف هیئت امنا دانشگاه سیستان و بلوچستان  
شهرستان

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

مهر ۱۳۸۸

۱۲۷۵۲۴



### بسمه تعالیٰ

این پایان نامه با عنوان بررسی عددی جریان آب عبوری از سرریز لبه آبریز به روش حجم سیال (VOF) قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندس عمران (مهندسی آب) توسط دانشجو علی اکبر اعتصام تحت راهنمایی استاد پایان نامه دکتر غلامحسین اکبری تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

علی اکبر اعتصام سٹیج

این پایان نامه A. واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ۹/۷/۱۳۸۸. توسط هیئت داوران بررسی و درجه ... به آن تعلق گرفت.

نام و نام خانوادگی	امضاء	تاریخ
استاد راهنما: دکتر غلامحسین اکبری		
استاد راهنما:		
استاد مشاور: دکتر علیرضا حسین نژاد دوبین		۸۸/۷/۹
داور ۱: دکتر حسین عجم		۸۸/۷/۹
داور ۲: دکتر مهدی اژدری مقدم		
نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر محمد خرم		

۱۳۸۸/۸/۳


### تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب علی اکبر اعتصام سئیچ تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: علی اکبر اعتصام سئیچ

امضاء



تقدیم به:

پدر و مادر فداکارم

و

برادران عزیزم

## سپاسگزاری

خداوندا تو را شکرگزارم که در این راه یاریگرم بودی و تاب تحمل سختی و دشواری را به من عنایت کردی تا بتوانم گام بردارم و قلم در دستم بی‌جان نماند و بنگارد. الهی تو را شکر بدان جهت که همچون تو را دارم و تو رونق جانان را به من نشان دادی تا در صحرای تاریک سینه‌ام، شعله روشن امید همیشه زنده باشد. کاش زمین بسان آنان بسیار داشت تا دیگر کسی دلتنگ غم نان و نام نمی‌بود. پیشانی بر آن آستان می‌سایم که مددش هر دم با من بود. در ابتدا از خانواده‌ام تقدیر و تشکر می‌کنم که سختی‌ها را به جان خریدند تا من قدم در این راه نهم. در ادامه از بزرگوارانی که چراغ دست و کلامشان روشنگر راه من بود قدردانی می‌کنم و از آنانی که اسم مبارکشان در این مقام به جهت عدم یاری حافظه، بر قلم جاری نشده است عذرخواهی می‌کنم.

آقایان: دکتر غلامحسین اکبری، دکتر حسین‌نژاد، دکتر اژدری مقدم، دکتر شایختی، دکتر طهماسبی، مهندس هاشمی منفرد، اسماعیل اعتصام، سیف‌الله سیفی، عبدالله آقاسی زاده، وحید فتاحی، رشید عباسپور، مصطفی فدایی، محمد حسین صباغ، هاشم ملکشاهی، مجتبی صالح‌پور، کاظم حبیب‌زاده، مهدی کیا، محمد کیا، سیاوش پاکدامن، امین باشی، سهیل رزمجو، محمد مهدی فدایی، جعفر جمشیدی، محمود حدادی، ابراهیم حسنی، علی نشاط‌پور، حسین حسین‌پور نیکنام، مرتضی وطن دوست، سید رضا الیاس، محمد علی زیلوچی، رحیم شمس‌الدینی، حسین رستگار، مقداد حسنی و شهریار الهیاری.

خانم‌ها: آریانا گلی‌پور، سهیلا قلی‌پور، بهاره پیرزاده، مرضیه نیکبخش، فاطمه زندی، سمیه خانی‌پور، آسیه مهربان، سمیه اوکاتی و ندی مقدم.

## چکیده:

در این پایان‌نامه، به کمک نرم‌افزار Flow-3D میدان جریان عبوری از سرریز اوجی بررسی می‌گردد. همچنین اثر هندسه سرریز و بلندای آب بالا دست سرریز بر میدان جریان و توزیع فشار بررسی شده و تاثیر مدل‌های مختلف آشفتگی (Prandtl,  $k - \epsilon$  و RNG (Renormalized Group) در میدان جریان نیز مورد توجه بوده است. نرم‌افزار Flow-3D یک برنامه تحلیلی میدان جریان است که معادلات حاکم بر میدان جریان عبوری از روی سرریز که همان معادلات (Reynolds Averaged Navier Stocks) RANS می‌باشند را حل نموده و از روش VOF (Volume Of Fluid) برای تعیین پروفیل سطح آزاد جریان و از تکنیک FAVOR (Fractional of ) برای تعیین پروفیل سطح آزاد جریان و از تکنیک (Area/Volume Representation) برای در نظر گرفتن موانع در میدان جریان استفاده می‌کند. تغییر هندسه سرریز باعث تغییر توزیع فشار بر تاج سرریز و میزان دبی عبوری از آن می‌شود، که این نکته در طراحی پروژه‌های مشابه مفید می‌باشد. تاثیر بلندای آب پشت سرریز نیز بر حل میدان جریان و فشار روی سرریز همخوانی خوبی با نتایج آزمایشگاهی آقایان Savage و Johnson در سال ۲۰۰۱ و آیین‌نامه‌ای مانند USBR (U.S. Bureau of Reclamation) و USACE (U.S. Army Corps of Engineer) دارد در این تحقیق تاثیر هندسه و بلندای آب بالا دست سرریز در میزان هوای وارد شده به جریان در اثر پدیده خودهواگیری نیز بررسی شده است و یکی از مزیت‌های این تحقیق نسبت به موارد مشابه می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر کارآمدی مدل عددی مورد استفاده در تحلیل جریان‌های دارای سطح آزاد و آشفتگی نمایان می‌گردد، که این امر دلیلی بر لزوم استفاده از روش‌های عددی در کنار روش‌های آزمایشگاهی، جهت بهینه‌سازی مدل و صرفه جویی در هزینه و زمان است، اما در حال حاضر استفاده از این روش به تنهایی و بدون مدل آزمایشگاهی در پروژه‌های بزرگ توصیه نمی‌گردد.

واژگان کلیدی: سرریز اوجی - بلندای آب - روش حجم سیال (VOF) - میدان جریان - نرم‌افزار FLOW-3D

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه .....
۲	۱-۱- مقدمه .....
۶	فصل دوم: تشریح مسئله و مروری بر مطالعات گذشته .....
۷	۱-۲- تشریح مسئله .....
۷	۱-۱-۲- جریان عبوری از سرریز .....
۸	۲-۱-۲- ورود هوا به جریان در تندآب .....
۹	۳-۱-۲- رشد لایه مرزی .....
۱۱	۴-۱-۲- خود هواگیری .....
۱۴	۲-۲- مروری بر کارهای انجام شده در گذشته .....
۱۴	۱-۲-۲- فعالیت های آزمایشگاهی .....
۱۶	۲-۲-۲- فعالیت های عددی .....
۲۰	فصل سوم: معادلات حاکم، گسسته سازی و روش های حل معادلات .....
۲۱	۱-۳- مقدمه .....
۲۱	۲-۳- معادلات جریان .....
۲۳	۳-۳- مدل های آشفتگی .....
۲۴	۱-۳-۳- مدل های صفر معادله ایی .....
۲۴	۲-۳-۳- مدل های یک معادله ایی .....
۲۵	۳-۳-۳- مدل های دو معادله ایی .....
۲۶	۱-۳-۳-۳- مدل استاندارد .....
۲۸	۲-۳-۳-۳- مدل (Renormalized Groups) RNG .....
۲۹	۳-۳-۳-۳- مدل محسوس .....
۳۱	۴-۳-۳- مدل تنش جبری .....
۳۱	۵-۳-۳- مدل تنش رینولدز .....
۳۲	۴-۳- روش حجم سیال .....
۳۲	۱-۴-۳- معادله حاکم بر روش حجم سیال .....



۳۳	..... ۳-۴-۲- الگوهای مختلف روش حجم سیال
۳۳	..... ۳-۴-۲-۱- الگوی دهنده و گیرنده
۳۴	..... ۳-۴-۲-۲- الگوی یانگز
۳۵	..... ۳-۴-۲-۳- الگوی صریح اولر
۳۵	..... ۳-۴-۲-۴- الگوی ضمنی
۳۷	..... ۳-۴-۳- روش حجم سیال به کار رفته در نرم‌افزار Flow-3D
۴۱	..... ۳-۵- روش کسر مساحت-حجم مانع
۴۲	..... ۳-۶- روش‌های مختلف گسسته سازی معادلات
۴۲	..... ۳-۶-۱- روش تفاضل محدود
۴۳	..... ۳-۶-۲- روش اجزاء محدود
۴۴	..... ۳-۶-۳- روش حجم محدود
۴۵	..... ۳-۶-۳-۱- روش رئوس مرکز سلول (Cell Vertex)
۴۵	..... ۳-۶-۳-۲- روش مرکزیت سلول (Cell Center)
۴۶	..... فصل چهارم: تحلیل عددی جریان عبوری از روی سرریز
۴۷	..... ۴-۱- مقدمه
۴۸	..... ۴-۲- بررسی تیپ‌های سرریز اوجی به کار رفته در این پایان‌نامه
۵۰	..... ۴-۳- مدل فیزیکی
۵۲	..... ۴-۴- بررسی برخی نرم‌افزارهای عددی تحلیل عددی جریان
۵۲	..... ۴-۴-۱- نرم‌افزار ANSYS
۵۲	..... ۴-۴-۲- نرم‌افزار FLUENT
۵۳	..... ۴-۴-۳- نرم‌افزار STAR-CD
۵۴	..... ۴-۴-۴- بررسی نرم‌افزار FLOW-3D
۵۵	..... ۴-۴-۴-۱- تقریبات عددی به کار رفته در نرم‌افزار
۵۷	..... ۴-۴-۴-۲- مدل‌های آشفتگی به کار رفته در نرم‌افزار
۵۸	..... ۴-۴-۴-۳- مدل سازی ورود هوا در نرم‌افزار
۵۹	..... ۴-۴-۴-۴- خصوصیات خاص و منحصر بفرد نرم‌افزار
۵۹	..... ۴-۴-۴-۵- موارد کاربرد صنعتی نرم‌افزار
۶۰	..... ۴-۵- انتخاب نرم‌افزار FLOW-3D و صحت سنجی
۶۰	..... ۴-۵-۱- آزمون جریان بین دو صفحه موازی
۶۴	..... ۴-۵-۲- شبیه‌سازی جریان عبوری در یک کانال افقی دارای یک مانع نیم دایره‌ای شکل در کف
۶۹	..... ۴-۶- نتایج بدست آمده از صحت سنجی
۷۰	..... ۴-۷- تحلیل جریان عبوری از فراز سرریز اوجی
۷۱	..... ۴-۸- مدل عددی
۷۲	..... ۴-۸-۱- سرریز تیپ ۲

۸۸	..... ۲-۸-۴ سرریز تیپ ۱
۹۷	..... ۳-۸-۴ سرریز تیپ ۲
۱۰۹	..... ۹-۴ تحلیل جریان بر روی سرریز سد زولا
۱۰۹	..... ۱-۹-۴ مشخصات کلی طرح
۱۱۱	..... ۲-۹-۴ مدل سازی رایانه ای
۱۱۱	..... ۱-۲-۹-۴ اعمال شرایط اولیه و مرزی
۱۱۸	..... ۱۰-۴ جمع بندی
۱۲۱	..... فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۲۲	..... ۱-۵ جمع بندی و نتیجه گیری
۱۲۶	..... ۲-۵ پیشنهاداتی برای ادامه تحقیق
۱۲۷	..... مراجع
۱۳۲	..... پیوست ها
۱۳۳	..... پیوست (الف) - مراحل شبیه سازی جریان در نرم افزار FLOW-3D

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان جدول
۲۶	جدول ۱-۳. ضرایب ثابت لاندرو اسپالدینگ برای معادلات $k - \varepsilon$
۲۷	جدول ۲-۳. ثابت‌های مدل $k - \varepsilon$ استاندارد
۲۹	جدول ۳-۳. ضرایب ثابت برای مدل $k - \varepsilon$ حالت RNG
۴۹	جدول ۱-۴. تیپ‌های مختلف سرریز اوجی به کار رفته در این تحقیق
۷۲	جدول ۲-۴. مشخصات شبکه به کار رفته بر روی سرریز تیپ ۲
۸۶	جدول ۳-۴. مقادیر دبی (متر مکعب بر ثانیه) بر روی سرریز تیپ ۲ در حالت‌های مختلف $H_e / H_d$
۸۸	جدول ۴-۴. مشخصات شبکه به کار رفته بر روی سرریز تیپ ۱
۹۷	جدول ۵-۴. مقادیر دبی بر روی سرریز تیپ ۱ در حالت‌های مختلف $H_e / H_d$
۹۸	جدول ۶-۴. مشخصات شبکه به کار رفته بر روی سرریز تیپ ۳
۱۰۷	جدول ۷-۴. مقادیر دبی بر روی سرریز تیپ ۳ در حالت‌های مختلف $H_e / H_d$

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان شکل
۱۰	شکل ۱-۲. هواگیری سطحی بر روی سرریز و نواحی مختلف جریان
۱۳	شکل ۲-۲. نواحی جریان هواگیری شده از سطح در جهت قائم
۲۲	شکل ۱-۳. تغییرات کمیت $\phi$ بر حسب $t$
۳۶	شکل ۲-۳. سطح تماس واقعی دو سیال
۳۶	شکل ۳-۳. سطح تماس به روش یانگز
۳۶	شکل ۴-۳. سطح تماس به روش دهنده و گیرنده
۳۷	شکل ۵-۳. نمونه‌ای از مقادیر VOF در نزدیکی سطح آزاد
۴۰	شکل ۶-۳. سه مرحله تعیین سطح آزاد به روش VOF
۴۹	شکل ۱-۴. سرریز تیپ ۱ در صفحه‌های مختلف مختصات دکارتی و نمایش سه بعدی آن
۴۹	شکل ۲-۴. سرریز تیپ ۲ در صفحه‌های مختلف مختصات دکارتی و نمایش سه بعدی آن
۵۰	شکل ۳-۴. سرریز تیپ ۳ در صفحه‌های مختلف مختصات دکارتی و نمایش سه بعدی آن
۵۰	شکل ۴-۴. ابعاد سرریز اوجی و پارامترهای جریان
۵۱	شکل ۵-۴. محل قرارگیری شیرهای اندازه‌گیری فشار
۶۰	شکل ۶-۴. هندسه جریان بین دو سطح صاف موازی
۶۱	شکل ۷-۴. شرایط مرزی اعمال شده بر میدان جریان
۶۲	شکل ۸-۴. مقایسه سرعت‌های بدست آمده از نرم‌افزار و روش دقیق
۶۲	شکل ۹-۴. لایه مرزی در نزدیکی دیواره
۶۳	شکل ۱۰-۴. پروفیل سرعت در جریان بین دو صفحه موازی

۶۴	شکل ۴-۱۱. شرایط مرزی اعمال شده بر شبکه محاسباتی
۶۵	شکل ۴-۱۲. شبکه به کار رفته در $\alpha = 0.3$
۶۵	شکل ۴-۱۳. شبکه به کار رفته در $\alpha = 0.4$
۶۵	شکل ۴-۱۴. شبکه به کار رفته در $\alpha = 0.5$
۶۶	شکل ۴-۱۵. پروفیل سطح آزاد آب برای $\alpha = 0.3$
۶۶	شکل ۴-۱۶. پروفیل سطح آزاد آب برای $\alpha = 0.4$
۶۷	شکل ۴-۱۷. پروفیل سطح آزاد آب برای $\alpha = 0.5$
	شکل ۴-۱۸. سطح آزاد تشکیل شده بر روی مانع نیم دایره‌ای شکل به شعاع ۳۰۰ میلیمتر در
۶۷	آزمایشگاه
۶۸	شکل ۴-۱۹. ارتفاع سیال برای $\alpha = 0.3$
۶۸	شکل ۴-۲۰. ارتفاع سیال برای $\alpha = 0.4$
۶۸	شکل ۴-۲۱. ارتفاع سیال برای $\alpha = 0.5$
۶۹	شکل ۴-۲۲. تغییرات نسبت عمق پائین دست به بالادست مانع نسبت به $a$
۷۲	شکل ۴-۲۳. شرایط مرزی اعمال شده بر محدوده محاسباتی در سرریز تیپ ۲
۷۳	شکل ۴-۲۴. شبکه محاسباتی بر روی سرریز تیپ ۲
۷۴	شکل ۴-۲۵. مقایسه مقادیر فشار بر روی سرریز تیپ ۲ در $H_e / H_d = 0.51$
۷۴	شکل ۴-۲۶. مقایسه مقادیر فشار بر روی سرریز تیپ ۲ در $H_e / H_d = 0.82$
۷۵	شکل ۴-۲۷. مقایسه مقادیر فشار بر روی سرریز تیپ ۲ در $H_e / H_d = 1.2$
۷۶	شکل ۴-۲۸. مقایسه مقادیر فشار بر روی سرریز تیپ ۲ در دبی‌های مختلف
۷۷	شکل ۴-۲۹. توزیع مقادیر فشار بر روی سرریز تیپ ۲ در $H_e / H_d = 0.51$
۷۷	شکل ۴-۳۰. توزیع مقادیر فشار بر روی سرریز تیپ ۲ در $H_e / H_d = 0.82$
۷۷	شکل ۴-۳۱. توزیع مقادیر فشار بر روی سرریز تیپ ۲ در $H_e / H_d = 1.2$
۷۸	شکل ۴-۳۲. پروفیل سطح آزاد جریان عبوری از سرریز تیپ ۲ در $H_e / H_d = 0.51$

- شکل ۴-۳۳. پروفیل سطح آزاد جریان عبوری از سرریز تیپ ۲ در  $H_e / H_d = 0.82$  ۷۸
- شکل ۴-۳۴. پروفیل سطح آزاد جریان عبوری از سرریز تیپ ۲ در  $H_e / H_d = 1.2$  ۷۹
- شکل ۴-۳۵. ارتفاع آب بر روی سرریز تیپ ۲ در  $H_e / H_d = 0.51$  ۷۹
- شکل ۴-۳۶. ارتفاع آب بر روی سرریز تیپ ۲ در  $H_e / H_d = 0.82$  ۸۰
- شکل ۴-۳۷. ارتفاع آب بر روی سرریز تیپ ۲ در  $H_e / H_d = 1.2$  ۸۰
- شکل ۴-۳۸. مقایسه سرعت در مدل‌های آشفتگی بر روی سرریز تیپ ۲ در  $H_e / H_d = 0.51$  ۸۰
- شکل ۴-۳۹. مقایسه سرعت در مدل‌های آشفتگی بر روی سرریز تیپ ۲ در  $H_e / H_d = 0.82$  ۸۱
- شکل ۴-۴۰. مقایسه سرعت در مدل‌های آشفتگی بر روی سرریز تیپ ۲ در  $H_e / H_d = 1.2$  ۸۲
- شکل ۴-۴۱. مقایسه سرعت بر روی سرریز تیپ ۲ در دبی‌های مختلف ۸۳
- شکل ۴-۴۲. خط جریان مربوط به جریان عبوری از سرریز تیپ ۲ در  $H_e / H_d = 0.51$  ۸۳
- شکل ۴-۴۳. خط جریان مربوط به جریان عبوری از سرریز تیپ ۲ در  $H_e / H_d = 0.82$  ۸۴
- شکل ۴-۴۴. خط جریان مربوط به جریان عبوری از سرریز تیپ ۲ در  $H_e / H_d = 1.2$  ۸۴
- شکل ۴-۴۵. میزان هوای وارد شده به جریان عبوری از سرریز تیپ ۲ در  $H_e / H_d = 0.51$  ۸۵
- شکل ۴-۴۶. میزان هوای وارد شده به جریان عبوری از سرریز تیپ ۲ در  $H_e / H_d = 0.82$  ۸۵
- شکل ۴-۴۷. میزان هوای وارد شده به جریان عبوری از سرریز تیپ ۲ در  $H_e / H_d = 1.2$  ۸۵
- شکل ۴-۴۸. مقایسه دبی عبوری بر روی سرریز تیپ ۲ در حالت‌های مختلف  $H_e / H_d$  ۸۷
- شکل ۴-۴۹. شبکه محاسباتی بر روی سرریز تیپ ۱ ۸۸
- شکل ۴-۵۰. مقادیر فشار بر روی سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 0.51$  ۸۹
- شکل ۴-۵۱. مقادیر فشار بر روی سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 0.82$  ۸۹
- شکل ۴-۵۲. مقادیر فشار بر روی سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 1.2$  ۸۹
- شکل ۴-۵۳. مقادیر سرعت بر روی سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 0.51$  ۹۰
- شکل ۴-۵۴. مقادیر سرعت بر روی سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 0.82$  ۹۰
- شکل ۴-۵۵. مقادیر سرعت بر روی سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 1.2$  ۹۱

- شکل ۴-۵۶. پروفیل سطح آزاد جریان عبوری از سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 0.51$  در ۹۲
- شکل ۴-۵۷. پروفیل سطح آزاد جریان عبوری از سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 0.82$  در ۹۲
- شکل ۴-۵۸. پروفیل سطح آزاد جریان عبوری از سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 1.2$  در ۹۲
- شکل ۴-۵۹. ارتفاع آب بر روی سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 0.51$  در ۹۳
- شکل ۴-۶۰. ارتفاع آب بر روی سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 0.82$  در ۹۳
- شکل ۴-۶۱. ارتفاع آب بر روی سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 1.2$  در ۹۴
- شکل ۴-۶۲. خط جریان مربوط به جریان عبوری از سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 0.51$  در ۹۴
- شکل ۴-۶۳. خط جریان مربوط به جریان عبوری از سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 0.82$  در ۹۵
- شکل ۴-۶۴. خط جریان مربوط به جریان عبوری از سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 1.2$  در ۹۵
- شکل ۴-۶۵. میزان هوای وارد شده به جریان عبوری از سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 0.51$  در ۹۶
- شکل ۴-۶۶. میزان هوای وارد شده به جریان عبوری از سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 0.82$  در ۹۶
- شکل ۴-۶۷. میزان هوای وارد شده به جریان عبوری از سرریز تیپ ۱ در  $H_e / H_d = 1.2$  در ۹۶
- شکل ۴-۶۸. شبکه محاسباتی بر روی سرریز تیپ ۳ در ۹۸
- شکل ۴-۶۹. مقادیر فشار بر روی سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 0.51$  در ۹۸
- شکل ۴-۷۰. مقادیر فشار بر روی سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 0.82$  در ۹۹
- شکل ۴-۷۱. مقادیر فشار بر روی سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 1.2$  در ۹۹
- شکل ۴-۷۲. مقادیر سرعت بر روی سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 0.51$  در ۱۰۰
- شکل ۴-۷۳. مقادیر سرعت بر روی سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 0.82$  در ۱۰۰
- شکل ۴-۷۴. مقادیر سرعت بر روی سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 1.2$  در ۱۰۱
- شکل ۴-۷۵. پروفیل سطح آزاد جریان عبوری از سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 0.51$  در ۱۰۲
- شکل ۴-۷۶. پروفیل سطح آزاد جریان عبوری از سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 0.82$  در ۱۰۲
- شکل ۴-۷۷. پروفیل سطح آزاد جریان عبوری از سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 1.2$  در ۱۰۲
- شکل ۴-۷۸. ارتفاع آب بر روی سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 0.51$  در ۱۰۳

- شکل ۴-۷۹. ارتفاع آب بر روی سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 0.82$  در ۱۰۳
- شکل ۴-۸۰. ارتفاع آب بر روی سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 1.2$  در ۱۰۴
- شکل ۴-۸۱. خط جریان مربوط به جریان عبوری از سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 0.51$  در ۱۰۴
- شکل ۴-۸۲. خط جریان مربوط به جریان عبوری از سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 0.82$  در ۱۰۵
- شکل ۴-۸۳. خط جریان مربوط به جریان عبوری از سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 1.2$  در ۱۰۵
- شکل ۴-۸۴. میزان هوای وارد شده به جریان عبوری از سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 0.51$  در ۱۰۶
- شکل ۴-۸۵. میزان هوای وارد شده به جریان عبوری از سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 0.82$  در ۱۰۶
- شکل ۴-۸۶. میزان هوای وارد شده به جریان عبوری از سرریز تیپ ۳ در  $H_e / H_d = 1.2$  در ۱۰۶
- شکل ۴-۸۷. مقایسه دبی عبوری از فراز تیپ‌های سه گانه سرریز، در حالت‌های مختلف. در ۱۰۸
- شکل ۴-۸۸. نمای کلی سرریز سد زولا. در ۱۱۰
- شکل ۴-۸۹. هندسه مدل رایانه‌ای سرریز سد زولاچای و محدوده شبکه مورد استفاده. در ۱۱۱
- شکل ۴-۹۰. مقایسه فشار مربوط به جریان عبوری، بر حسب متر آب در دبی  $221/8$ . در ۱۱۲
- شکل ۴-۹۱. مقدار فشار مربوط به جریان عبوری، در دبی  $221/8$ . در ۱۱۳
- شکل ۴-۹۲. مقایسه فشار مربوط به جریان عبوری، بر حسب متر آب در دبی  $50/15$ . در ۱۱۴
- شکل ۴-۹۳. مقدار فشار مربوط به جریان عبوری، در دبی  $50/15$ . در ۱۱۴
- شکل ۴-۹۴. مقایسه سرعت مربوط به جریان عبوری، بر حسب متر آب در دبی  $221/8$ . در ۱۱۵
- شکل ۴-۹۵. مقدار سرعت (cm/sec) مربوط به جریان عبوری، در دبی  $221/8$ . در ۱۱۵
- شکل ۴-۹۶. مقایسه سرعت مربوط به جریان عبوری، بر حسب متر آب در دبی  $50/15$ . در ۱۱۶
- شکل ۴-۹۷. مقدار سرعت (cm/sec) مربوط به جریان عبوری، در دبی  $50/15$ . در ۱۱۶
- شکل ۴-۹۸. مقایسه ارتفاع آب جریان عبوری در دبی  $221/8$ . در ۱۱۷
- شکل ۴-۹۹. مقایسه ارتفاع آب جریان عبوری در دبی  $50/15$ . در ۱۱۷



## فهرست علائم

نشانه	علامت
سرعت در جهت $i$	$u_i (m / s)$
ضریب لزجت دینامیکی	$\mu (N \cdot s / m^2)$
ضریب لزجت سینماتیکی	$\nu (m^2 / s)$
لزجت گردابه ایی دینامیکی	$\eta (N \cdot s / m^2)$
جرم مخصوص	$\rho (kg / m^3)$
وزن مخصوص	$\gamma (N / m^3)$
نرخ استهلاك انرژی	$\varepsilon$
لزجت گردابه ای سینماتیکی	$\nu_i (m^2 / s)$
دبی	$Q (m^3 / s)$
انرژی جنبشی	$K (J)$
فشار	$P (N / m^2)$
سرعت در جهت X	$u (m / s)$
سرعت در جهت Y	$v (m / s)$
سرعت در جهت Z	$w (m / s)$
طول	$L (m)$
زمان	$t (s)$
کشش سطحی	$\sigma (N / m)$

تنش برشی	$\tau(N / m^2)$
سرعت زاویه ای	$\omega_k(rad / s)$
انرژی جنبشی آشفتگی	$Q_k(J)$
انحناء سطح	$L_t(m)$
سطح	$A(m^2)$
سطح سیال	$A_s(m^2)$
انرژی جنبشی بر واحد سطح	$P_d(J)$
ارتفاع طراحی	$H_d(m)$
ارتفاع موثر	$H_e(m)$
حجم هوا	$f_a(m^3)$
حجم	$V(m^3)$
ضریب لزجت دینامیکی موثر	$\mu_{eff}(N s / m^2)$
Renormalized Group	RNG
Reynolds Averaged Navier Stocks	RANS
Volume Of Fluid	VOF
Fractional of Area/Volume Representation	FAVOR
U.S. Bureau of Reclamation	USBR
U.S. Army Corps of Engineer	USACE
Analysis System	ANSYS
Flow and Transport Simulator	FLOTRAN
Pressure Implicit Split Operator	PISO
Large Eddy Simulation	LES
Drag Eddy Simulation	DES

فصل اول

مقدمه

بهره برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی و ذخیره و انتقال آن از یک مکان به مکان دیگر به منظور آبیاری و آبرسانی، به عنوان یک ضرورت حیاتی، از آغاز زندگی مورد نظر بشر بوده است. انسان نیز آگاهانه و یا ناآگاهانه از قوانین علمی حاکم بر این بهره‌وری‌ها تبعیت می‌نموده و از آنها در جهت تجزیه و تحلیل مسایل پیش آمده سود می‌جسته است. در این راستا، علم هیدرولیک به عنوان علمی که رفتار مکانیکی آب، یعنی علمی که سکون، حرکت و تغییر شکل‌های آن را تحت تاثیر تنش‌های وارده همراه با دخالت شرایط مرزی بررسی می‌کند، تکامل یافته است. در دوران حاضر، بنابر ضرورت شناسایی رفتار مکانیکی سایر سیالات، هیدرولیک به عنوان یکی از شاخه‌های علم مکانیک سیالات شناخته می‌شود که در این شاخه، بر خلاف شاخه هیدرودینامیک، از جنبه‌های تجربی و آزمایشگاهی بهره‌فراوانی برده می‌شود. ضرورت استفاده از نتایج تجربی و آزمایشگاهی خود معلولی از پیچیدگی تاثیر عوامل مختلف طبیعی و غیرطبیعی بر رفتار مکانیکی آب می‌باشد.

سدها یکی از بزرگترین سازه‌های دست بشر هستند و شاید هیچ نوع سازه‌ای که توسط انسان ساخته شده، به اندازه سد بزرگی که دارای دریاچه وسیعی در بالا دست خود و منطقه پر جمعیتی در پایین دست است، دارای زمینه خطر برای جان و مال افراد نباشد. شکست احتمالی یک سد، می‌تواند سبب ایجاد سیلابی مهیب و خساراتی بسیار سنگین در شهرها و تاسیسات صنعتی و کشاورزی پایین دست آن شود. سد‌های مخزنی یکی از مهمترین سازه‌هایی هستند که برای ذخیره آبهای سطحی و کنترل جریان سیلاب احداث می‌شوند. در مخزن این نوع سدها حجم آب بسیار زیادی ذخیره می‌شود و به همین دلیل وجود یک سرریز مناسب در آنها از اهمیت خاصی برخوردار است. صرف‌نظر از اشکالات سازه‌ای که ممکن است در شکست یک سد نقش داشته باشند، عدم رعایت ضوابط و محدودیت‌های هیدرولیکی نیز می‌تواند عامل مهمی در شکست سد باشد.

هر سد از تعداد زیادی سازه جانبی تشکیل شده است که یکی از مهمترین آنها سازه‌های تخلیه‌کننده سیلاب می‌باشد. از جمله این سازه‌ها می‌توان به تخلیه‌کننده‌های تحتانی و سرریزها اشاره کرد که در سدهای بزرگ غالباً از آنها برای تخلیه سیلاب استفاده می‌شود. سرریزها و تخلیه‌کننده‌های تحتانی باید قادر باشند تا حجم آبی برابر